

早稲田大学大学院情報生産システム研究科



# 博士論文概要

## 論文題目

機能局在型遺伝的ネットワーク  
プログラミング  
の構成に関する研究

Study on Genetic Network  
Programming with Functional  
Localization

申請者  
江藤 慎治

Shinji Eto

情報生産システム工学専攻  
進化型計算システム研究

2007 年 12 月



コンピュータによって人間の知的機能の実現を目指す人工知能の分野において、プランニングや自ら判断し行動する主体であるエージェントに関する様々な研究が行われてきた。この研究課題は、ある環境下に存在するエージェントが与えられた目標を達成するために必要な行動の系列を生成することである。

プランニングの初期研究に、ロボットのためのプランナ STRIPS がある。その後、STRIPS の枠組みの表現の拡張、処理の効率化、プランニングを行わずに迅速な行動を実現するメカニズム、さらには、不確実性や動的環境を扱うプランニング、マルチエージェントプランニングなどの、様々な検討がなされてきた。

進化論的計算手法は、生物の進化のメカニズムを模倣してデータ構造を改変、合成、選択する手法である。代表的な手法に遺伝的アルゴリズム (GA) や遺伝的プログラミング (GP) がある。進化論的計算手法によるプランニングには、積木世界のプランニング問題やロボットの経路探索問題などがある。積木世界やロボットの問題に GA や GP を適用する場合には、従来と同様、環境モデルの上で完全なプランを生成する STRIPS タイプのプランニングを扱っており、このようなプランニングでは「生成されたプランが現実世界で確実に実行される」という前提がある。しかし、実環境では状況が時々刻々と変化するため、プランはしばしば失敗することになる。

上記の古典的プランニングの実行に関する問題に対して、動的環境、あるいは実世界の環境において目標を達成することを目指した即応プランニングがある。即応プランニングの基本となる考えは、「エージェントが実世界で知的に行動するためには、従来の膨大な探索を伴うようなプランニングは必要ではなく、その場の環境に応じた行動を行えばよい」というものである。しかし、即応プランニングでは古典的プランニングが行っている意味での完全なプランニングは行わないため、あらかじめ目的にあった即応ルールを設計者が与える必要がある。この意味で、即応ルールは柔軟性に欠ける。

本論文では、以上の二つの問題（膨大な探索空間の処理、設計者依存と動的環境における対応）を解決するために、近年開発された進化論的計算手法である遺伝的ネットワークプログラミング (Genetic Network Programming: GNP) に機能局在モデルを導入した機能局在型 GNP を提案し評価している。GNP はプログラムをグラフ構造によって表現する。プログラムの最小構成単位はノードによって表され、ノードをネットワーク状に接続することでプログラムの自動生成を行うものである。ノードは設計者の先見知識を用いて作成され、入力情報の判断や環境への行動を実行する。ノードを組み合わせることで判断と行動を組み合わせ即応ルールの生成が行われる。従来の GNP では単一の構造上にすべてのルールを生成するため探索空間が膨大となり柔軟性に富むルールの生成が困難である。そこでこの問題を解決するために、多数の機能部分により構成される機能局在型 GNP を提案し、探索空間を部分空間に分けてエージェントの行動系列の生成を行うことを試みる。機能局在型 GNP を実現する



ために、重要度指標や調整ノードといった新たな枠組みを GNP に導入する。

## 第1章 序論

本研究の背景、従来研究と本研究の位置付けについて示し、本研究の目的を明確化している。

## 第2章 機能局在型 GNP

本研究における GNP の拡張である機能局在型 GNP の基本構成について説明している。機能局在型 GNP はタスク対応のタスク GNP と切替え対応のスイッチ GNP によって構成され、また、タスク GNP は部分タスク対応の複数のサブ GNP によって構成される。これらの GNP の実現には、(1)部分タスクに対応するサブ GNP の生成、(2)タスク GNP のサブ GNP を切り替えるスイッチ GNP の生成、(3)スイッチ GNP とタスク GNP を組み合わせた機能局在型 GNP の生成、などが重要であることを指摘している。多くの問題は複数の簡単なタスクに分割することが可能であり、それらを別々に解くことによって問題自体をより容易に解くことが可能である。しかし、一般に単独の GNP では問題の分割に対応するような構造を進化論的に得ることは難しく、また、得ようとしてもノード数の増大や汎化能力の低下をもたらすことが考えられる。

そこで、本章では、1 個体に複数のサブ GNP を用意し、分割されたタスクに対して個別のサブ GNP を割り当てる機能局在型 GNP を提案する。特に本章では、機能局在型 GNP の基礎検討として、タスクの切り替えタイミングが既知の場合のサブ GNP の構築に関する検討を行う。あらかじめタスクを部分タスクに分割できる問題に対して、部分タスクに対応できるサブ GNP を構築することが可能であること明らかにする。また、シミュレーションによって、得られた機能局在型 GNP と従来の GNP の構造を比較し、機能局在型 GNP が従来の GNP より優れていることを示している。

## 第3章 調整ノード付き GNP

上記(1)の部分タスクに対応するサブ GNP を生成するための機能局在型 GNP の検討を行っている。上記(1)のサブ GNP の生成の効率化に関する検討を行っている。第2章ではタスクの切り替えタイミングおよびタスク分割が既知である場合の検討を行った。換言すると、第2章ではタスクの切り替えが1回の場合であった。しかし、タスクが複数回切り替わるような複数回の環境下でのサブ GNP の生成は重要である。そこで、サブ GNP の生成を行うために、GNP に調整ノードという新しい枠組みを導入し GNP の性能を高めることを検討している。

従来の GNP では、初期ノードより GNP の遷移が開始されると二度と初期ノードに戻ることなく判定ノードと処理ノードを遷移し続ける。このため、



調整ノード無の GNP では、すべてのノードへの遷移が発生せず、多くのノードが活性化されない、つまり GNP の多くのノードが有効活用されない状態となる場合が生じる。そこで、調整ノードを GNP に導入することによりこの問題を解決している。調整ノード付き GNP では、調整ノードを用いることにより多くのノードを活性化できることを示し、調整ノード無の GNP に比べ高い能力を持つことを明らかにしている。

#### 第4章 重要度指標付き GNP

上記(2) タスク GNP のサブ GNP を切り替えるスイッチ GNP の生成に関する機能局在型 GNP の検討を行っている。

複数のサブ GNP を持つ機能局在型 GNP では、それぞれのサブ GNP の構成も重要ではあるが、その機能の切り替えはさらに重要である。タスクに適切なサブ GNP を構築することができても、状況に応じてサブ GNP を切り替えることができなければ、全体として問題を解くことが不可能だからである。本章では、スイッチ GNP の基礎検討としてサブ GNP が与えられている場合の検討を行っている。具体的には、スイッチ GNP に重要度指標を導入し、従来の GNP における出力、つまり処理ノードのみによる出力ではなく判定内容をも考慮した出力についての検討を行っている。判定ノードおよび処理ノードの内部に重要度指標を設けることで、タスクの切り替えが効率的に実行できることを明らかにしている。

#### 第5章 重要度指標と調整ノードを用いた機能局在型 GNP

第2章から第4章までの検討結果を踏まえ、上記(3) スイッチ GNP とタスク GNP を組み合わせた機能局在型 GNP の生成について検討している。重要度指標を導入したスイッチ GNP と調整ノードを導入したタスク GNP の階層構成、およびタスク GNP 内に複数のサブ GNP を構築する方式を提案し評価を行った。この結果、従来の GNP では困難であったタスクの切替タイミングの自動生成、および、異なるタスクを1個の GNP 内に容易に実現することが可能であることを明らかにしている。

#### 第6章 結論

本研究の内容についての結論を述べている。